

Tagungsbeitrag zu:
Jahrestagung der DBG, Kommission I
Titel der Tagung:
Böden - eine endliche Ressource
Veranstalter: DBG
Termin und Ort: Bonn, 05. - 13.09.2009
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation) <http://www.dbges.de>

Bodenphysikalische Kenngrößen und deren flächenhafte Heterogenität auf einer homogen hergestellten Fläche der Bergbaufolgelandschaft in der Lausitz

Julia Krümmelbein¹, Scarlett Fischer¹,
Thomas Raab¹, Reinhard F. Hüttl²

Zusammenfassung

Das Projekt befasst sich mit der landwirtschaftlichen Rekultivierung ehemaliger Braunkohletagebauegebiete in der Lausitz, größtem Braunkohleabbaugebiet Deutschlands. Der Tagebau führt zu Störungen auf der Landschaftsskala. Die Rekultivierung versucht u.a., die Tagebauegebiete wieder landwirtschaftlicher Nutzung zuzuführen. Die Substrate, die zur Rekultivierung verwendet werden, stammen aus mehreren Metern Tiefe und sind daher frei von rezenter organischer Substanz. Das Substrat ist unstrukturiert und wird bei Abaggerung, Aufschüttung und Einebnung starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dies führt zu mehr oder weniger stark verdichteten Böden/Substraten. In diesem Zusammenhang untersuchen wir den Einfluss unterschiedlicher Rekultivierungsstrategien auf die Entwicklung einer funktions- und tragfähigen Bodenstruktur auf einer 2006/2007 aufgeschütteten und eingeebneten Fläche. Hierfür wurden an ungestörten Bodenproben u.a. Lagerungsdichte, Luftleitfähigkeit und Vorbelastung bestimmt. Wir zeigen erste Ergebnisse aus den laufenden Untersuchungen, die eine hohe Schwankungsbreite aufweisen, obwohl die Fläche mit ähnlichem Substrat und einheitlichen Maschinen hergestellt worden ist.

Schlüsselworte: Vorbelastung, Luftleitfähigkeit, Kippenboden, landwirtschaftliche Rekultivierung

Einleitung

Im Zuge der Braunkohletagebaurekultivierung werden Substrate tertiären und quartären Ursprungs verwendet, die vorher die Kohle überlagerten. In unserer Untersuchung wurden für die landwirtschaftliche Rekultivierung quartäre Substrate aus mehreren Metern Tiefe verwendet, welche keinerlei Bodenentwicklung durchlaufen haben, unstrukturiert und frei von rezenter organischer Substanz sind und einen Calciumcarbonatgehalt bis zu 4 % haben. Stock et al. (2007) haben dieses Material als empfindlich gegenüber intensiver Verhärtung bei Austrocknung beschrieben, während im feuchten Zustand eine sehr geringe mechanische Stabilität herrscht. Insgesamt ist eine hohe Empfindlichkeit des Substrates für Verdichtungen festzustellen. (Stock et al., 2005). Für die Einebnung der auf bis zu 4 m hoch aufgeschütteten Substrat-Dämme werden schwere Raupenfahrzeuge verwendet, die teilweise starke Verdichtungen hervorrufen. Die Flächen werden technisch und bezogen auf das Substrat homogen hergestellt. Wir stellen Ergebnisse der Status-quo-Beprobung vor, die vor Anwendung jedweder Rekultivierungsmaßnahmen durchgeführt wurde und den Ausgangszustand der Fläche nach Aufschütten und Einebnen darstellen soll.

Material und Methoden

Experimentalfäche:

Die Experimentalfäche befindet sich in der Lausitz, unweit von Cottbus, Brandenburg (E14°35', N51°47'). Die Fläche (Gesamtgröße 6 ha) ist technisch und was die verwendeten Substrate angeht homogen hergestellt. Das die Braunkohle überlagernden Substrat wird auf den Rekultivierungsflächen auf Dämme bis zu 4 m Höhe aufgeschüttet und anschließend eingeebnet. Die hierfür verwendeten Raupenfahrzeuge haben Gesamtgewichte von 20.77 t, 19.72 t und 36.5 t und Kontaktflächendrücke von 32.85 kPa, 58.84 kPa und 97.09 kPa. Die Fläche ist im Winter 2006/2007 bei mutmaßlich relativ hohen Wassergehalten

aufgeschüttet und eingeebnet worden. Der mittlere Gehalt an Calciumcarbonat liegt bei 2,3 % bei einem mittleren pH-Wert von 8,4 (CaCl_2). Die Körnung besteht gliedert sich in ~80 % Sand, ~15 % Schluff und ~5 % Ton. Die Gesamtfläche ist in 25 Teilflächen aufgeteilt, die zukünftig mit unterschiedlichen Strategien rekultiviert werden. Vor der Beprobung für die hier gezeigten Ergebnisse hatte die Fläche noch keine weitere Behandlung als die Einebnung erfahren.

Beprobung:

Auf allen Teilflächen wurden in 3 Tiefen (15-19 cm, 45-49 cm, 75-79 cm) ungestörte Bodenproben entnommen, um Lagerungsdichte, Vorbelastung und Luftleitfähigkeit zu bestimmen.

Messmethoden:

Die Lagerungsdichte wurde durch Ofentrocknung (105°C, 24 h) bestimmt (Hartge und Horn, 2009). Für die Bestimmung der Vorbelastung und der Luftleitfähigkeit wurden die Proben zunächst auf ein Matrixpotenzial von -6 kPa vorentwässert. Die Vorbelastung ($n=5$) wurde aus Drucksetzungskurven (Multistep-Ödometer, gedrängt) nach der Methode von Casagrande (Casagrande, 1936, in Kezdi, 1980) abgeleitet. Die Luftleitfähigkeit ($n=15$) wurde mit einem Durchflussmesser (konstante Druckhöhe 1 hPa), beschrieben von Peth (2004), bestimmt.

Ergebnisse:

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hier nur Ergebnisse von 8 Teilflächen und einer Tiefe (45-49 cm) gezeigt.

Lagerungsdichte:

Die Lagerungsdichte schwankt zwischen ~1.35 g/cm³ und ~1.9 g/cm³ (Abb. 1).

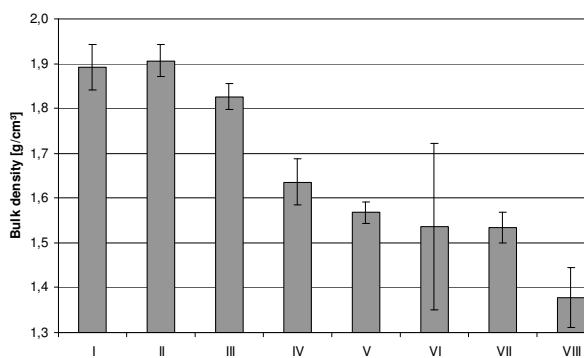


Abbildung 1: Lagerungsdichte [g/cm³] der Profile I-VIII (40-45 cm). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung, $n=15$

Vorbelastung:

Die Vorbelastung der 8 Teilflächen liegt zwischen ~30 und ~70 kPa (Abb. 2). Vorbelastungen von 30-40 kPa sind als gering einzuschätzen und entsprechen in etwa gepflügten Horizonten.

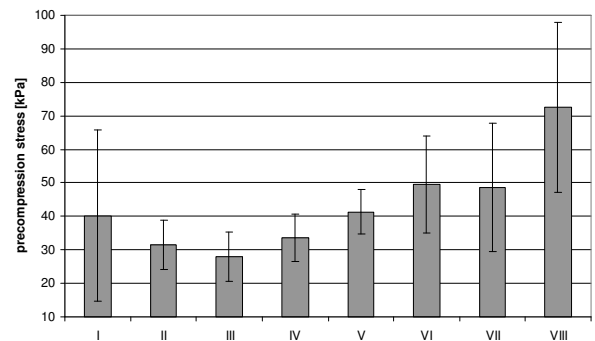


Abbildung 2: Vorbelastung [kPa] der Profile I-VIII (45-49 cm). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung, $n=5$

Korrelation zwischen Lagerungsdichte und Vorbelastung:

In unserem Fall wurde eine negative Korrelation zwischen Lagerungsdichte und Vorbelastung festgestellt (Abb. 3).

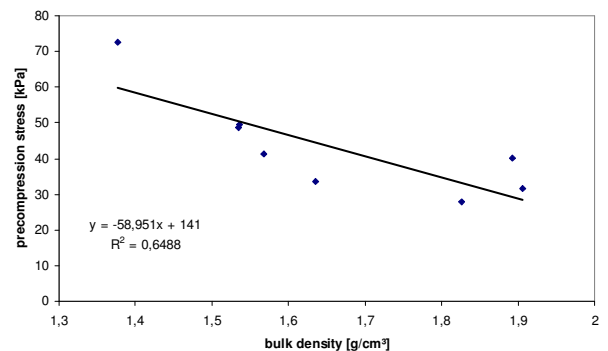


Abb. 3: Korrelation zwischen Lagerungsdichte [g/cm³] und Vorbelastung [kPa] (40-45)

Luftleitfähigkeit:

Der Median der Luftleitfähigkeit liegt zwischen $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ m/s und $\sim 10^{-5}$ m/s (Abb. 4). Nach Schlichting et al. (1995) kann die Luftleitfähigkeit insgesamt als sehr gering klassifiziert werden.

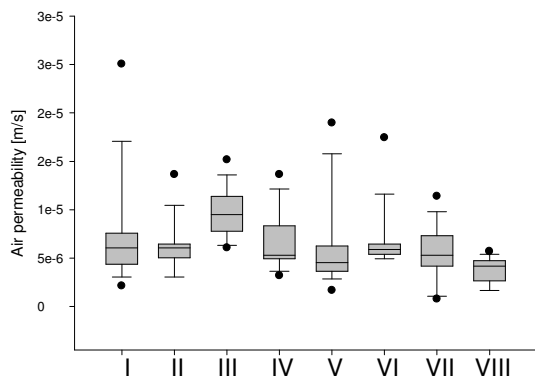


Abbildung 4: Luftleitfähigkeit [m/s] der Profile I-VIII (45-49 cm). Box-Whisker-Plots zeigen Median (Linie innerhalb der Box), unteres Quartil (untere Grenze der Box), oberes Quartil (obere Grenze der Box). Whisker zeigen das 90%-Quantil und 10%-Quantil. Schwarze Kreise: Ausreißer

Diskussion:

Die Prozesse bei Flächenherstellung haben starke Auswirkungen auf bodenphysikalische Eigenschaften und Funktionen. Obwohl das verwendete Substrat bezüglich seiner Textur auf der gesamten Fläche relativ einheitlich ist, unterscheiden sich die untersuchten Eigenschaften stark auf den 8 gezeigten Teilflächen. Die Unterschiede sind vermutlich hauptsächlich auf die technischen Prozesse während der Flächenherstellung zurückzuführen. Die Unterschiede in der Lagerungsdichte resultieren einerseits aus der dammförmigen Aufschüttung und anschließenden Einebnung (höhere Lagerungsdichte auf ehemaligen ‚Dammspitzen‘, niedrigere Lagerungsdichten in ehemaligen ‚Dammtälern‘) und andererseits aus der Anzahl der Überfahrungen sowie dem Substratwassergehalt beim Einebnen (Fazekas, 2005). Lagerungsdichten $>1,8 \text{ g/cm}^3$ werden als sehr hoch, zwischen $1,8$ und $1,6 \text{ g/cm}^3$ als hoch, zwischen $1,6 \text{ g/cm}^3$ und $1,4 \text{ g/cm}^3$ als mittel und $< 1,4 \text{ g/cm}$ als niedrig eingestuft. (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2005).

Assouline (2006) gibt unter anderen an, dass bodenphysikalische Eigenschaften von Kapazitätsgrößen wie Lagerungsdichte abgeleitet werden können, dies dient häufig als Basis für verschiedene weitere Datensätze. Häufig geht man davon aus, dass die mechanische Stabilität von Böden und Substraten mit steigender Lagerungsdichte steigt (Rücknagel et al., 2007; Krümmelbein et al., 2006). Dies mag in der Regel für strukturierte Böden zutreffen, die einer natürlichen Pedogenese unterlagen.

Für Standorte, bei denen es zu großskaligen Bodenumlagerungen und Deformationen gekommen ist, sind diese Beziehungen nicht ohne weiteres anwendbar. Die negative Beziehung zwischen Lagerungsdichte und Vorbelastung zeigt, dass die Starrheit der Bodenstruktur unter den gegebenen anthropogenen Einflüssen nicht durch die Masse an Bodenpartikeln pro Volumeneinheit, sondern durch kohäsive und adhäsive Kräfte zwischen Partikeln und Aggregaten bestimmt wird. Hier haben Teilflächen I, II und III mit den höchsten Lagerungsdichten die niedrigsten Vorbelastungen (im Bereich von gepflügten Horizonten). Des Weiteren zeigen unsere Ergebnisse, dass die Ableitung hydraulischer Funktionen aus Textur und Lagerungsdichte nicht für solch stark gestörte Standorte wie unsere Experimentalfläche angewendet werden kann. Die Luftleitfähigkeit ist hier nicht mit der Lagerungsdichte oder der Textur (nicht gezeigt) korreliert. Die Luftleitfähigkeit aller Teilflächen ist sehr gering (Schlichting et al., 1995) und eine sich ändernde Lagerungsdichte hat keinen ausschlaggebenden Effekt auf die Luftleitfähigkeit, obwohl häufig beschrieben wird, dass sowohl die gesättigte Wasserleitfähigkeit als auch die Luftleitfähigkeit mit steigender Lagerungsdichte sinken (Krümmelbein et al., 2007; Loague, 2007; Jabro, 1992). Auch in Bereichen geringer Lagerungsdichte kann die Porenkontinuität gering und deren Tortuosität hoch sein, was niedrige Leitfähigkeiten induziert (Vervoort and Cattle, 2003). Diese Interpretation wird durch die Tatsache gestützt, dass die Vorentwässerung der Proben ungewöhnlich lange gedauert hat und teilweise unvollständig war.

Regenereignisse haben während der Flächenherstellung einen großen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften, da bei steigendem Wassergehalt die Empfindlichkeit gegenüber Verdichtung durch überfahrende Fahrzeuge (Raupe) steigt. Nach Flächenherstellung können Niederschläge dazu führen, dass das Substrat weiter in sich zusammen sackt (Stock et al., 2007). Während und im Anschluss an die Flächenherstellung im Winter 2006/2007 herrschte feuchte Witterung mit vermutlich einer mehr oder weniger kompletten

Durchfeuchtung der Profile. Bedauerlicherweise liegen keine Messungen der Wassergehalte während und im Anschluss an die Flächenherstellung vor.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Fläche, die technisch homogen hergestellt wurde nicht notwendigerweise auch eine gleichmäßige Verteilung der bodenphysikalischen Parameter aufweisen muss. Auch wenn die Textur des verwendeten Substrates auf der gesamten Fläche ähnlich ist, sind unter Umständen große Änderungen bodenhydraulischer und bodenmechanischer Parameter zu erwarten, die sich aufgrund des nicht starren, d.h. mechanisch instabilen Substrates und den technischen Prozessen der Flächenherstellung einstellen.

Danksagung:

Wir danken der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung der Untersuchungsfläche und Finanzierung des Forschungsvorhabens.

Literatur:

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5th edition, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany.

Assouline, S., 2006. Modelling the relationship between soil bulk density and the hydraulic conductivity function. *Vadose Zone Journal* 5: 697-705.

Fazekas, O., 2005. Bedeutung von Bodenstruktur und Wasserspannung als stabilisierende Kenngrößen gegen intensive mechanische Belastungen in einer Parabraunerde aus Löss unter Pflug- und Mulchsaat. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde 67, Universität Kiel, ISSN 0933-680 67

Hartge, K.-H. and Horn, R., 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. 4. ed. Enke Verlag, Stuttgart, Germany.

Jabro, J.D., 1992. Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. *Trans. ASAE* 35, 557-560.

Kezdi, A., 1980. Handbook of soil mechanics: Soil testing. 2, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Krümmelbein, J., Wang, Z., Zhao, Y., Peth, S. and Horn, R., 2006. Influence of various grazing intensities on soil stability, soil structure and water balance of grassland soils in Inner Mongolia, P.R. China. *Advances in Geocology* 38: Soil Management for Sustainability, Catena Verlag Reiskirchen, ISBN 3-923381-52-2

Krümmelbein, J., 2007. Influence of various grazing intensities on soil stability and water balance of a steppe soil in Inner Mongolia, P.R. China. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung Bodenkunde Universität Kiel, Germany. ISSN 0933-680 X.

Loague, K., 2007: Using soil texture to estimate saturated hydraulic conductivity and the impact of rainfall-runoff simulations. *JAWRA* 28, 4, 687-693.

Peth, S., 2004. Bodenphysikalische Untersuchungen zur Trittbelastung von Böden bei der Rentierweidewirtschaft an borealen Wald- und subarktisch-alpinen Tundrenstandorten - Auswirkungen auf thermische, hydraulische und mechanische Bodeneigenschaften. Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung Bodenkunde Universität Kiel, Germany. ISSN 0933-680 X

Rücknagel, J., Hofmann, B., Paul, R., Christen, O. and Hülsbergen, K.-J., 2007. Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. *Soil and Tillage Research* 92 (1-2): 213-220.

Schlichting, E., Blume, H.-P., Stahr, K., 1995. Bodenkundliches Praktikum, Blackwell-Verlag Berlin, Germany. ISBN 3-8263-3042-0

Stock, O., 2005: Untersuchungen zum Verfestigungsverhalten saalezeitlichen Geschiebemergels am Beispiel landwirtschaftlicher Rekultivierungsstandorte der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft: Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, 30, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Cottbus, 126.

Stock, O., Lesturgez, G., Bens, O. and Hüttl, R.F., 2007. Mechanical properties of metastable glacial till before and after water-induced compaction. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170 (4): 560-565.

Vervoort, R.W. and Cattle, S.R., 2003. Linking hydraulic conductivity and tortuosity parameters to pore space geometry and pore-size distribution. *Journal of Hydrology* 272 (1-4), 36-49.